محور مقاله: فیزیک خاک و رشد گیاه

ارزیابی کمّی مدل دو آستانه ای تابع شوری برای گیاه سورگوم

نگار آقایاری[۱*]، مهدی همایی[۲]، سید مجید میرلطیفی[۳]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد گروه آبیاری و زهکشی دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

[۲] استاد گروه آبیاری و زهکشی دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

[۳] دانشیار گروه آبیاری و زهکشی دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

شوری منابع آب و خاک باعث کاهش عملکرد گیاهان زراعی و باغی می‌شود. به همین جهت، اشتقاق مدل‌های تخمین‌گر برای برآورد عملکرد گیاهان که بتوانند با دقتی مناسب عملکرد گیاهان را در سطوح مختلف شوری برآورد کنند از اهمّیتی فراوان برخوردارند. در این مدل‌ها آستانه‌ی کاهش عملکرد نقش بسیار تعیین کننده‌ای در دقت برآوردها دارد.بدین منظور، آزمایشی در شش سطح شوری و هر سطح در سه تکرار به اجرا در آمد. سطوح شوری به صورتیک تیمار آب غیر شور(۰٫۶)، و پنج تیمار با شوری های ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ دسی زیمنس بر متر بر روی گیاه سورگوم اعمال گردید. به منظور انجام ارزیابی کمّی، مدل خطی دو تکه‌ایماس و هافمن (MH) و مدل دو آستانه‌ایهمایی و همکاران (H) در نظر گرفته شدند. سپس، پارامترهای هر کدام از مدل‌ها با استفاده از روش بهینه سازی حداقل مجموع مربعات به دست آمد. مدل‌ها با استفاده از آماره‌های ضریب کارآیی، ضریب تبیین، خطای بیشینه، ریشه میانگین مربعات خطا و ضریب جرم باقیمانده مقایسه شدند. نتایج نشان داد که آستانه‌ی کاهش عملکرد گیاه سورگوم هنگامی که از آب شور طبیعی استفاده شود،۲/۴۰ dS/mو آستانه‌ی دوم حدود۱۱ dS/m بود. به عبارت دیگر، مقدار عملکرد سورگومبر مبنای مدل دو آستانه‌ای از ۱۰۰درصد در شوری ۲/۴۰dS/m تا ۱۷ درصد در شوری۱۱ dS/m به صورت غیرخطی کاهش می یابدو می توان از این مدل دو آستانه‌ایبرای تخمین عملکرد با دقتی قابل قبول استفاده نمود.

کلمات کلیدی: سورگوم، شوری، مدل

مقدمه

شوری منابع خاک و آب، رشد و عملکرد گیاهان را به گونه‌ای کاهنده تحت تأثیر قرار می‌دهد.خاک شور به خاکی گفته می‌شود که غلظت نمک‌ها در آن به قدری باشد که عملکرد گیاه را کاهش دهد، مشروط بر آنکه سایر عوامل، مانعی برای رشد گیاه ایجاد نکنند. از این تعریف به خوبی دریافتمی‌شود که شوری مفهومی وابسته به گیاه است(همایی،۱۳۸۱). به طور کلی، ممکن است در شرایط مشابه، خاکی با غلظت معینی از نمک‌ها برای گیاهی شور و برای گیاه دیگر، غیرشور باشد. مهم ترین واکنش گیاه به افزایش شوری خاک، کاهش آهنگ رشد است. آستانه‌ی تحمل یا آستانه‌ی مقاومت گیاه، غلظتی از املاح محلول در خاک است که از آن پس کاهش عملکرد آغاز می شود. معمولا خاک‌های شور در مناطق خشک و نیمه خشک یافتمی‌شوند. برای بیان کمّی پاسخ گیاه به شوری، توابع مختلفی توسط پژوهشگران ارائه شده است. این توابع یا مدل ها می توانند برای بیان رفتار گیاه و برآورد عملکرد در شرایطی که تنش وجود دارد، بکار روند. ماس و هافمن(۱۹۷۷) تابعی خطی و دو بخشی ارائه کرده اند کهدر آن تا پیش از رسیدن شوری به آستانه کاهش محصول هیچگونه کاهشی در عملکرد گیاه رخ نمی‌دهد. لیکن با افزایش شوری، مقدار عملکردبه صورت خطی کاهش می‌یابد. چون فرض خطی بودن کاهش عملکرد با شرایط واقعی مزرعه مطابقت ندارد، ون گنوختن و هافمن (۱۹۸۴) معادله ای غیرخطی پیشنهاد کردند. پژوهش‌های فراوان (دیرکسن و همکاران، ۱۹۹۳) نشان داده که عملکرد گیاه تا رسیدن به یک شوری مشخص کاهش نمی‌یابد. به همین دلیل دیرکسن و همکاران (۱۹۹۳) مدل پیشنهادی ون گنوختن و هافمن (۱۹۸۴) را با در نظر گرفتن آستانه‌ی کاهش عملکرد تعدیل کردند. از آنجا که به دست آوردن پارامترهای این مدل‌ها دشواربود، همایی و همکاران (۲۰۰۲) تابعی غیر خطی که دارای دو آستانه کاهش می باشد را پیشنهاد نمودند (همایی و فدس، ۲۰۰۱، همایی و فدس، ۱۹۹۹، همایی و همکاران، ۲۰۰۲). منابع آب در ایران هم محدود است و هم در بسیاری از موارد کیفیت آن نامناسب می باشد. به همین دلیل استفاده از آب های شور در کشاورزی موضوعی مهم به شمار می‌رود(سعادت و همکاران ،۱۳۹۳).هدف از این پژوهش پارامتریزه

* ایمیل نویسنده مسئول: negar.aghayari@modares.ac.ir

کردن این مدل ها و نیز بررسی مدل های موجود در برآورد عملکرد نسبی گیاه در شرایطی که تنش شوری وجود دارد و به دست آوردن بهترین مدل می‌باشد. در این پژوهش مدل ماس و هافمن و مدل همایی و همکاران بررسی و مورد مقایسه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی و کمّی کردن اثر شوری و ارزیابی کارآیی مدل دو آستانه ای همایی و همکاران بر عملکرد گیاه سورگوم، آزمایشی در یک خاک با بافت لوم شنی در شش تیمار و سه تکرار انجام شد. سطوح شوری شامل یک تیمار آب غیر شور(۰,۶)، و پنج تیمار با شوری های ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ دسی زیمنس بر متر بر روی گیاه سورگوم اعمال گردید. به منظور پارامتریزه کردن اثرات شوری بر عملکرد سورگوم، عملکرد نسبی در شوری های مختلف با استفاده از مدل ماس و هافمن و مدل همایی و همکاران محاسبه شد. ماس و هافمن(۱۹۷۷) تابع خطی و دو بخشی زیر را برای پاسخ گیاه به شوری ارائه کردند:

$$y_r = 1 - b(EC - EC_{cr}) \qquad (۱)$$

که در آن y_r عملکرد نسبی بر حسب درصد، EC_{cr} حد آستانه شوری برای کاهش عملکرد بر حسب دسی زیمنس بر متر، b شیب تابع پاسخ عملکرد به شوری است.

همچنین،همایی و همکاران تابع غیر خطی زیر را که دارای دو آستانه می باشد پیشنهاد نمودند(همایی و فدس، ۲۰۰۱، همایی و فدس، ۱۹۹۹، همایی و همکاران، ۲۰۰۲):

$$y_r = \frac{1}{1 + \left[\frac{EC - EC_{cr}}{EC_{max} - EC_{cr}}\right]^P \left[\frac{(1-\alpha)}{\alpha}\right]} \qquad (2)$$

که در آن y_r عملکرد نسبی بر حسب درصد، EC_{cr} حد آستانه شوری برای کاهش عملکرد بر حسب دسی زیمنس بر متر، P ضریب تجربی، EC_{max} مقدار شوری است که از آن پس کاهش محسوسی در عملکرد رخ نمی‌دهد (شوری آستانه‌ی دوم) و α مقدار عملکرد متناظر با شوری آستانه‌ی دوم می‌باشد. بر پایه‌یاین مدلکاهش در مقدار α در رابطه با شوری بیشتر از EC_{cr} ادامه می یابد تا به یک شوری مشخص (EC_{max}) برسد، در مقادیر شوری های بیشتر از EC_{max} افزایش شوری منجر به کاهش محسوسیدر مقدار α نمی‌شود .در انتها عملکرد نسبی برآورد شده توسط مدل های (۱) و (۲) با مقادیر اندازه گیری شده در برابر سطوح مختلف شوری رسم و نتایج مدل ها با یکدیگر مقایسه گردیدند. همچنین، مقایسه کمّی مدل ها با محاسبه ی آماره های خطای بیشینه[۱] (ME)، ریشه میانگین مربعات خطا[۲] (RMSE)، ضریب تبیین[۳](CD)، کارآیی مدل[۴](EF)و ضریب جرم باقیمانده[۵](CRM) برای هر کدام از مدل ها انجام شد. بیان ریاضی آماره ها به صورت زیر است(Homaee et.,al 2002):

$$ME = max|P_i - O_i|_{i=1}^{n}$$

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{n}\right]^{\frac{1}{2}} \frac{100}{\bar{O}}$$

$$CD = \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^{n}(P_i - \bar{O})^2}$$

[1]Maximum Error
[2] Root Mean Square Error
[3] Coefficient of Determination
[4]Efficiency Modeling
[5] Coefficient of Residual Mass

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^{n}(P_i - \bar{O}_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})^2}$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i) - \sum_{i=1}^{n}(P_i)}{\sum_{i=1}^{n}(O_i)}$$

که در آنها P_i مقادیر برآورد شده، O_i مقادیر اندازه گیری شده،n تعداد نمونه و $\bar{O}$میانگین مقادیر اندازه گیری شده است. مقدار ME نمایانگر بدترین حالت برآورد مدل است.CD نسبت بین پراکنش مقادیر برآورد شده و اندازه گیری شده را نشان می دهد. بیشترین مقدار EF یک است. مقادیرEF و CRM می توانند منفی باشند. مقدار EF مقادیر برآورد شده را نسبت به مقدار میانگین اندازه گیری ها مقایسه می کند.آمارهیCRM گرایش مدل به تخمین بیشتر و یا کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده را ارائه می‌دهد. مقدار منفی CRM تمایل مدل را برای بیش برآوردی اندازه گیری ها نشان می دهد (Homaee et al., 2002). پارامترهای هر دو مدل با استفاده از روش بهینه سازی حداقل مجموع مربعات خطا و به کمک افزونه‌یSolver در نرم افزار Excel تعیین گردید.

نتایج و بحث

جدول (۱) مقادیر به دست آمده برای همه‌ی پارامترهای دو مدل مورد بررسی را نشان می‌دهد. محاسبه‌ی این پارامترها با استفاده ازروش حداقل مجموع مربعات انجام شده است. همانگونه که در این جدول نشان داده شده، مقدار آستانه کاهش عملکرد سورگومبر مبنای مدل خطی ۲/۷۲ و بر مبنای مدل غیرخطی دو آستانه‌ای ۲/۴ دسی زیمنس بر متر برآورد شده است. بنابراین می‌توان گفت که آستانه‌ی برآورد شده بر مبنای هر دو مدل حدود ۲/۵ دسی زیمنس بر متر می‌باشد. این جدول همچنین نشان می‌دهد که شیب کاهش در مدل خطی ۱۲٪ بوده و بنابراین در شوری ۱۱ دسی زیمنس بر متر یا بیشتر مقدار عملکرد صفر می‌شود. لیکن بر مبنای مدل دو آستانه‌ای، هنگامی که شوری به ۱۱ دسی زیمنس بر متر می‌رسد، عملکرد برابر با ۱۷٪ (α) می‌شود و از آن پس افزایش شوری کاهش چندانی در عملکرد ایجاد نمی‌کند. ضمن آنکه این کاهش عملکرد بر خلاف مدل (۱) به صورت غیرخطی رخ می‌دهد.

جدول ۱. پارامتر های محاسبه شده برای مدلهای ۱ و۲

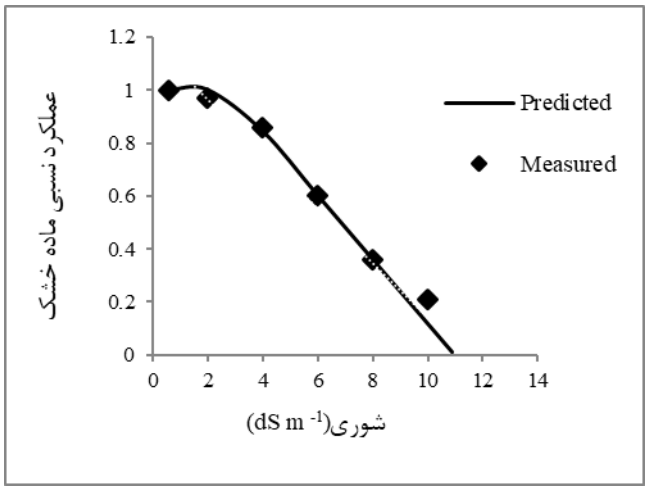
معادله	EC_{cr}	b	α	p	EC_{max}
MH (1)	۲,۷۲	۰,۱۲	-	-	-
H (2)	۲,۴۰	-	۰,۱۷	2.2	۱۱

جدول ۲ آماره های محاسبه شده برای ارزیابی کمّی این دو مدل را نشان می‌دهد. همانگونه که در شکل ۱ نشان داده شده، مدل غیرخطی همایی و همکاران و مدل خطی ماس و هافمن، برازش خوبی بر داده‌های اندازه‌گیری شده دارند. لیکن برای ارزیابی نیکویی برازش‌ها، این دو مدل باید بر مبنای آماره‌های محاسبه شده مورد ارزیابی قرار گیرند. نتایج حاصل از آماره‌ها نشان می‌دهد که مدل دو آستانه‌ای همایی و همکاران، از کارآیی بیشتری برای پیش بینی عملکرد برخوردار است. مقدار بالای ME کارآیی نامناسب مدل را نشان می‌دهد. با توجه به مقدار ME در جدول ۲، مدل ۲ از کارآیی بسیار بیشتری برخوردار است زیرا مقدار ME در آن حدود نصف ME مربوط به مدل ۱ می‌باشد. مقدار بالای RMSE نشان می‌دهد که مقادیر برآورد شده با مقادیر اندازه‌گیری شده تفاوت دارند. بنابراین مدل ۱ با دارا بودن RMSE حدود دو برابر RMSE مدل ۲ از کارآیی نامطلوب‌تری برخوردار است. هر چقدر مقدار آماره CD یک مدل به یک نزدیک‌تر باشد، نشان دهنده مناسب‌تر بودن آن مدل است. بنابراین مدل ۲ با دارا بودن CD برابر ۰/۹۵ در مقایسه با مدل ۱ با CD ۰/۸۳ از کارآیی بهتری برخوردار است. نگاهی به جدول ۲ نشان می‌دهد که مدل همایی و همکاران داده‌های اندازه‌گیری شده را بهتر برازش داده و از کارآیی بهتری برخوردار است.

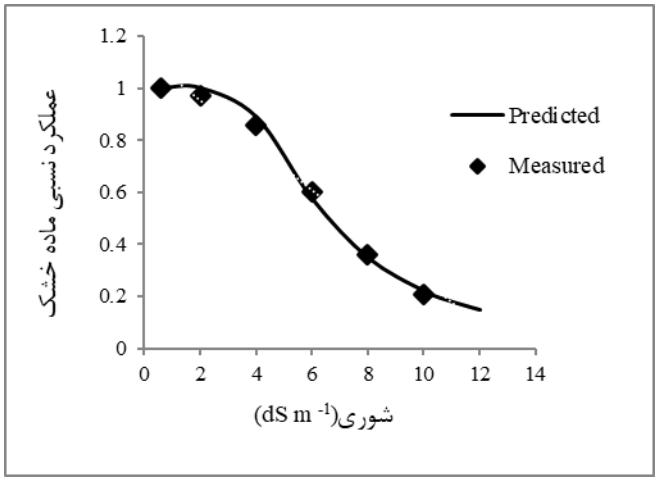
جدول ۲. آماره های محاسبه شده برای مقایسه مدل ها

معادله	ME	RMSE	CD	EF	CRM
MH(1)	۰,۰۹	۶,۰۰	۰,۸۳	۰,۹۸	۰,۰۲
H (2)	۰,۰۴	۳,۲۸	۰,۹۵	۱	-۰,۰۲

نتایج حاصل از برازش مدل ماس و هافمن بر داده‌های اندازه‌گیری شده در شکل (۱) و نتایج مربوط به برازش مدل همایی و همکاران بر داده‌های اندازه-گیری شده در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل۱. برازش مدل ماس و هافمن بر داده‌های اندازه‌گیری شده در سطوح مختلف شوری



شکل ۱. برازش مدل همایی و همکاران بر داده‌های اندازه‌گیری شده در سطوح مختلف شوری

نتیجه‌گیری

ارزیابی کمّی و مقایسه دو مدل خطی تک آستانه‌ای با مدل غیرخطی دو آستانه‌ای نشان داد که مدل دو آستانه‌ای کارآیی بهتری نسبت به مدل تک آستانه‌ای در سطوح شوری مورد مطالعه دارد. مدل دو آستانه‌ای دارای ME و RMSE کمتر و CD و EF بیشتری بوده و بنابراین بر مبنای

این آماره‌ها کارآیی مناسب‌تری نسبت به مدل تک آستانه‌ای برای برآورد عملکرد گیاه سورگوم در شرایط شور دارد. نتایج حاصل از آزمایش‌ها همچنین نشان داد که بر مبنای مدل دو آستانه‌ای عملکرد نسبی گیاه تا شوری حدود ۲/۴۰ دسی زیمنس بر متر کاهش نداشته، لیکن با افزایش شوری عملکرد کاهش و در شوری حدود ۱۱ دسی زیمنس بر متر به حدود ۱۷٪ می‌رسد.

منابع

همایی، م. ۱۳۸۱. واکنش گیاهان به شوری. کمیته ملی آبیاری و زهکشی. شماره ۵۸. تهران. ایران.

سعادت، س.، و م. همایی. ۱۳۹۳. نمون‌سازی واکنش سورگوم به شوری در مرحله جوانه زنی. مجله پژوهشآب در کشاورزی،۲۸(۳):۵۰۳-۵۱۶. تهران، ایران.

Maas, E. V., and G. J. Hoffman. 1977. Crop salt tolerance-current assessment. Journal of Irrigation and Drainage. 103 (IR2): 115-134.

Homaee, M., and R. A. Feddes. 2001. Quantification of water extraction under salinity and drought. In: W. J. Horst et al. (Eds), Plant nutrition-food security and sustainability of agro-ecosystems.p. 376-377.

Homaee, M., and R. A. Feddes. 2002. Modeling the sink term under variable soil water osmotic and pressure heads. 14th international conference on computational methods in water resources. Delft. The Netherlands.

Homaee, M., R. A. Feddes. 1999. Water uptake under non-uniform transient salinity and water stress. p. 416-427. In: J. Feyen and K. Wiyo (ed.). Modelling of transport processes in soils at various scales in time and space. Wageningen Press, Wageningen. The Netherlands.

Homaee, M., R. A. Feddes, and C. Dirksen. 2002a. Simulation of root water uptake. I. Non-uniform transient salinity using different macroscopic reduction functions. Agricultural Water Management, 57:89-109.

Homaee, M., R. A. Feddes, and C. Dirksen. 2002b. Simulation of root water uptake. II. Non-uniform transient water stress using different reduction functions. Agricultural Water Management, 57:111-126.

Dirksen, C., Kool, J. B., Koorevaar, P. and van Genuchetn, M. T. 1993. HYSWASOR- simulation model of hysteretic water and solute transport in the root zone. Russo, D. and Dagan, G. (Eds.). Water fow and solute transport in soils. Springer-Verlag. N. Y.

van Genuchten, M. Th., and G. J. Hoffman. 1984. Analysis of crop salt tolerance data: model description and manual. USDA-ARS-USSL Res. Rep. No. 120. U.S.Gov. print. Office, Washington, DC. Saadat, S. and M. Homaee. 2015. Modeling sorghum response to irrigation water salinity at early growth stage. Agricultural Water Management.

Topic for submission: Soil Physics and Plant Growth

Quantitative assessment of the two-threshold model of Salinity function for the Sorghum Plant

Aghayari*[1], N., Homaee[2], M., Mirlatifi, M.[3]

[1] M. Sc. Student, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Iran
[2] Prof., Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Iran
[3] Associate Prof., Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Iran

Abstract

Salinity reduces the agricultural and horticultural yield. Therefore, it is important to derive predictive models for estimating plant yields that accurately predict the yield at different salinity levels. In such models, the threshold parameter plays a crucial role in accurate estimation of the whole plant response function. The research was carried out with the aim of parameterization of the two threshold salinity model. For this purpose, the models proposed by Mass and Hoffman and Homaee et al were examined. Then parameters of each model were obtained by using least square optimization method. Consequently, an experiment including6 salinity treatments, each with 3 replicates was conducted. Treatments were consisted of six natural salinity (0.6, 2,4,6 ,8 and 10 dS m^{-1}) levels. The estimated values were then compared with the experimentally obtained data. The statistics of maximum error (ME), root mean square error (RMSE), modeling efficiency (EF) and coefficient of residual mass (CRM) were used to evaluate the performance of both models. Results indicated that the threshold value for sorghum with natural saline water is about 2.4 dS/m and the second threshold value is about 11dS/m. This implies that sorghum yield reduces nonlinearly from 100% in salinity of 2.4 dS/m to 17% at salinity of 11dS/m and thus, this model can be used to estimate the yield with reasonable precision.

Keywords: Model; Salinity; Sorghum

Corresponding author, Email: negar.aghayari@modares.ac.ir